

Application No. 10/764,136
Paper Dated January 10, 2006
Notice of Allowance Dated Dec. 5, 2005
Attorney Docket No. 116-040128



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 10/764,136 Confirmation No. 6098
Applicants : Toshikatsu KANEYAMA
Filed : January 23, 2004
Title : ELECTRON BEAM APPARATUS HAVING ELECTRON
ANALYZER AND METHOD OF CONTROLLING LENSES
Art Unit : 2881
Examiner : Kalimah Fernandez
Customer No. : 28289

Mail Stop ISSUE FEE
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450


CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119

Sir:

Attached hereto is a certified copy of Japanese Patent Application No. 2003-014751 which corresponds to the above-identified United States patent application and which was filed in the Japanese Patent Office on January 23, 2003. The priority benefits provided by Section 119 of the Patent Act of 1952 are claimed for the above application.

Respectfully submitted,

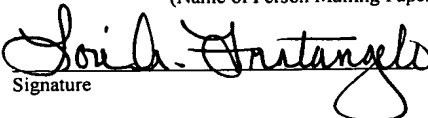
THE WEBB LAW FIRM

By 

David C. Hanson, Reg. No. 23,024
Attorney for Applicant
700 Koppers Building
436 Seventh Avenue
Pittsburgh, PA 15219-1845
Telephone: 412-471-8815
Facsimile: 412-471-4094
E-Mail: webblaw@webblaw.com

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on January 10, 2006.

Lori A. Fratangelo
(Name of Person Mailing Paper)


Signature

01/10/2006
Date

日本国特許庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日
Date of Application: 2003年 1月23日

出願番号
Application Number: 特願2003-014751
[ST. 10/C]: [JP 2003-014751]

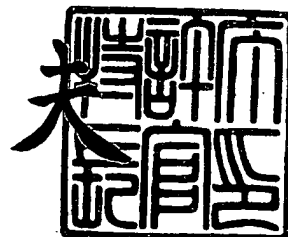
出願人
Applicant(s): 日本電子株式会社

CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

2004年 2月27日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 14-I-018

【提出日】 平成15年 1月23日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01J 37/26
H01J 37/05
H01J 37/22

【発明の名称】 電子分光系を有した電子線装置

【請求項の数】 7

【発明者】

【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内

【氏名】 金山 俊克

【特許出願人】

【識別番号】 000004271

【氏名又は名称】 日本電子株式会社

【代理人】

【識別番号】 100085187

【弁理士】

【氏名又は名称】 井島 藤治

【選任した代理人】

【識別番号】 100090424

【弁理士】

【氏名又は名称】 鮫島 信重

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708270

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電子分光系を有した電子線装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電子銃から発生し加速された電子を試料に照射するレンズや偏向コイルより成る照射光学系と、対物レンズ磁場内に配置された試料を透過した電子を結像する結像光学系と、結像された電子を検出する検出系を備えると共に、検出される電子のエネルギーを分光し、特定のエネルギーの電子を検出するためのエネルギー選択手段を備えた電子分光系を有した電子線装置において、検出される電子のエネルギーをシフトさせるために電子銃の加速電圧を変化させ、加速電圧の変化に応じたエネルギーシフト値に補正係数を乗じた補正量により、照射光学系のレンズや偏向コイルに流す電流値を補正すると共に、補正係数をキャリブレーション可能に構成した電子分光系を有した電子線装置。

【請求項 2】 電流値が補正されるレンズや偏向コイルは、照射光学系を構成するレンズや偏向コイルである請求項 1 記載の電子分光系を有した電子線装置。

【請求項 3】 電流値が補正されるレンズや偏向コイルは、照射光学系を構成するレンズや偏向コイル以外に設けられた補正用のレンズや偏向コイルである請求項 1 記載の電子分光系を有した電子線装置。

【請求項 4】 第 1 のエネルギーシフト値 δE_1 の時の補正レンズの電流の値を I_1 、補正偏向コイルの電流の値を I_{X1} 、 I_{Y1} とし、第 2 のエネルギーシフト値 δE_2 のときの補正レンズの電流の値を I_2 、補正偏向コイルの電流の値を I_{X2} 、 I_{Y2} とすると、レンズの補正係数 K_I 、偏向コイルの補正係数 K_{Dx} 、 K_{Dy} は、次の式に基づき行なわれる請求項 1 記載の電子分光系を有した電子線装置。。

$$K_I = (I_2 - I_1) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

$$K_{Dx} = (I_{X2} - I_{X1}) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

$$K_{Dy} = (I_{Y2} - I_{Y1}) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

【請求項 5】 エネルギーシフト値 δE に対するレンズの補正值 δI 、偏向コイルの補正值 δX_I 、 δY_I は、次の式によって求められる請求項 4 記載の電

子分光系を有した電子線装置。

$$\delta I = K I \times \delta E$$

$$\delta I X = K D_x \times \delta E$$

$$\delta I Y = K D_y \times \delta E$$

【請求項 6】 特定のエネルギーの電子を検出するためのエネルギー選択手段は、磁場を用いて電子をエネルギー分散させるアナライザーである請求項 1 記載の電子分光系を有した電子線装置。

【請求項 7】 特定のエネルギーの電子を検出するためのエネルギー選択手段は、電場を用いて電子をエネルギー分散させるアナライザーである請求項 1 記載の電子分光系を有した電子線装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、コンデンサレンズ、対物レンズにより電子ビームを試料上に集束し、試料を透過した電子を結像させるようにした電子線装置において、試料を透過した電子の内、特定の元素の特性吸収エネルギーに一致したエネルギーの電子を用いて結像するようにした電子分光系を有した電子線装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

電子顕微鏡には大きく分けて、透過電子顕微鏡と走査電子顕微鏡がある。透過電子顕微鏡では、電子銃から発生し加速された電子ビームをコンデンサレンズ、対物レンズにより試料上に集束し、試料を透過、散乱された電子を、蛍光板、写真フィルム、あるいは、TVカメラ上に結像させるようにしている。

【0003】

このような透過電子顕微鏡でエネルギーフィルタを搭載した透過電子顕微鏡が使用されている。このエネルギーフィルタを搭載した透過電子顕微鏡においては、試料を透過した電子の内、ある元素の特性吸収エネルギーに一致したエネルギーの電子のみを用いて結像させることにより、元素の分布などの試料情報を得ることができる。このように電子のエネルギーが試料によって吸収される現象はエ

エネルギー損失 (Energy loss) と呼ばれている。そして、損失エネルギーを解析することをエネルギー損失分光と呼んでいる。

【0004】

このエネルギーフィルタは、多くは結像された像の後段に設けられ、エネルギー選択スリット (絞) を通過した電子によって像を撮像管などによって検出している。このスリット幅と位置を適宜設定することにより、特定の損失エネルギー像を得ることができる。

【0005】

このようにして試料の特定元素の損失エネルギー像を得ることができるが、実際には、エネルギー損失スペクトルはバックグラウンドが高く、そのようなスペクトルから特定元素の情報を取り出すためには、バックグラウンド除去の対応が必須となっている。このバックグラウンド除去の方式としていくつかの方式が実際に使われている。以下各バックグラウンド除去の方式を説明する。

【0006】

最初に 2 ウィンド方式について図 1 を用いて説明する。図 1 はエネルギー損失のグラフを示しており、横軸がエネルギー損失値を表し、縦軸が各エネルギー損失値に対応した電子の強度 (Intensity) を表している。この 2 ウィンド方式の場合、希望するエネルギー損失値の像 (A) だけではなく、それよりも低いエネルギー損失値の像 (B) も取得する。そして、 $A - B$ あるいは A/B の信号処理を行なうことにより、所望の特定元素の情報を得るものである。なお、後者の演算は、バックグラウンドの除去というよりも、強度比を取得していることから、ジャンプ比 (Jump-ratio) と呼ばれることもある。

【0007】

次に、3 ウィンド方式について図 2 を用いて説明する。この方式においては、希望のエネルギー損失値の像 (A) に加え、それよりも低いエネルギー損失値の 2 つの像 (B)、(C) も取得する。この 2 つの像信号から像 (A) のバックグラウンドを推定して、その値を (D) とし、 $A - D$ の信号処理を行なうものである。

【0008】

上記したバックグラウンド推定では、エネルギー損失スペクトルの強度現象と、エネルギー損失値との関係を導き出すのであるが、それは電子の実エネルギーや試料の状態（含まれる元素や試料の厚さなど）に依存するもので、適当な物質-電子相互作用モデルにしたがって、その度ごとに計算しなければならない。

【0009】

相互作用モデルはいくつか提唱されており、像を求める元素やエネルギーによってそのいずれかを使用することになる。本発明では、この相互作用モデルは直接には関係しないので詳細な説明は行なわない。ただし、いずれの場合でも損失エネルギー値を替えて複数のフィルタ像を取得し、取得された複数の像信号の間で演算処理を行なう。

【0010】

ところで、損失の違う像を取得するため、像を形成する電子をアナライザーに導入し、このアナライザーでエネルギーを分散させる。そのエネルギーに応じて分散された電子の内、特定のエネルギー値の電子のみをアナライザーの後段に配置された出力スリットを通過させ、特定のエネルギー値を有した電子のみによる像をCCDカメラの如き撮像装置によって取得するようにしている。このアナライザーとしては、多くはセクタタイプの磁場を用い、磁場の強度を変えることによって出射スリット通過する電子のエネルギーを変えるようにしている。

【0011】

このアナライザーを備えた電子顕微鏡の例を図3に示す。この図において、電子銃1から加速電圧Eで加速された電子は、照射レンズ系2によって平行な電子ビームとして試料3に照射される。照射レンズ系2の中には、複数のコンデンサレンズと対物レンズの前方磁場の組み合わせが含まれている。

【0012】

試料3を透過あるいは散乱された電子は、結像レンズ系4によってアナライザー5の入射アパーチャ6上に結像される。この際、試料に照射された電子は、試料を構成する元素と照射電子のエネルギーに応じて吸収され、吸収されなかった電子が試料3を透過する。入射アパーチャ6の中心部に設けられた開口を通過した電子は、アナライザー5に入射する。

【0013】

アナライザー 5 内には磁場が形成されており、アナライザー 5 に入射した電子は、磁場によって曲げられるが、そのエネルギーによって曲げられる角度が相違する。すなわち、電子はアナライザー 5 によってエネルギー分散がなされる。アナライザー 5 の出射側にはスリット 7 が設けられ、スリット 7 の中心部に設けられた開口を通過する電子は、アナライザー 5 における磁場の強さに応じたエネルギー E を有した電子のみとなる。

【0014】

アナライザー 5 によって大きく曲げられた、エネルギー E より小さなエネルギー ($E - \delta E$) の電子は、スリット 7 によって遮断される。スリット 7 を通過した特定エネルギー E を有した電子は、結像レンズ系 8 によって、CCD カメラの如き撮像装置 9 の検出表面上に結像される。その結果、撮像装置 9 によって特定エネルギーの電子による像が検出される。この場合、アナライザー 5 を形成する磁場の強さを掃引すれば、磁場の強さの変化に応じて、異なったエネルギーを有した電子がスリット 7 の開口を通過する。

【0015】

なお、上記アナライザー 5 としては、セクタ型磁場を形成するアナライザーを用い、磁場の強さを変えるようにしたが、磁場の強さを一定に維持し、アナライザーの内部の電子通路に、導電性のチューブを設け、このチューブに図 4 に示す電源 10 から一定の電位を印加して、一時的に電子のエネルギーを変え、スリット 7 の開口を通過する電子のエネルギーを掃引することも可能である。図 4 の例では、アナライザー 5 内の電位を高くして、弱いエネルギー ($E - \delta E$) の電子がスリット 7 を通過し、より強いエネルギー E の電子はスリット 7 によって遮断される。

【0016】

図 5 はスリット 7 の開口を通過させる電子のエネルギーを変化させる他の例を示したもので、この図 5 の構成では、スリット 7 を前段および後段の電子光学系に対して、相対的に移動可能に構成したもので、スリット 7 を図中矢印方向に移動させれば、異なったエネルギーの電子を選択的にスリット 7 の開口を通過させ

ることができる。図5の例では、弱いエネルギー ($E - \delta E$) の電子が結像する位置にスリット7の開口を移動させている。一方、光軸上に結像するエネルギー E の電子は、スリット7によって遮断される。

【0017】

図6はアナライザー5の条件も変えず、またスリット7を機械的に移動させることなくエネルギーの選択を行なう例を示している。この図6の構成では、アナライザー5とスリット7との間に偏向コイル11を配置し、偏向コイル11によってアナライザー5を出射し分散された電子を偏向することにより、異なったエネルギーの電子をスリット7の開口を通過させることができる。

【0018】

図7はアナライザー5の条件も変えず、またスリット7を機械的に移動させることなく、更には偏向コイルも用いずにエネルギーの選択を行なう例を示している。この図7の構成では、電子銃1の加速電圧を変化させ、試料に対する照射電子のエネルギーを変えるように構成している。例えば、電子銃1における電子の加速電圧を E から E' ($E' = E + \delta E$) に変化(上昇)させる。

【0019】

これによってスリット7上のスペクトルはシフトし、スリットを通過する電子のエネルギーロス値は、変化させた照射エネルギー分 δE に一致する電子のみとなる。すなわち、スリット7の開口を通過する電子のエネルギーが E であり、それまでスリット7を通過していたエネルギーが E の電子は、 $E + \delta E$ のエネルギーを有することになり、スリット7により遮断されることになる。その一方、エネルギーが $E' - \delta E$ の電子は、

$$E' - \delta E = (E + \delta E) - \delta E = E$$

となり、アナライザー5によって曲げられ、光軸上のスリット7の開口を通過することになる。このように、電子銃1の加速電圧を変化させることによって所望のエネルギー損失値の電子スリットを通過させることができる。

【0020】

上記したようなエネルギーフィルタを備えた電子顕微鏡は、特許文献1や特許文献2に開示されている。なお、特定のエネルギーの電子を選択して像を形成す

る場合、セクタ型の磁場やビーム通路にチューブを設け、そのチューブに電圧を印加して電子のエネルギーを変化させる方式のみならず、 Ω フィルタ、 α フィルタ、 γ フィルタなどのフィルタを電子光学系の途中に配置する方式も用いられている。

【0021】

【特許文献1】

特開 2000-268766 号公報

【特許文献2】

特開平 11-86771 号公報

【0022】

【発明が解決しようとする課題】

前記したように、損失エネルギーを替える方式としては、4つの方式が考えられ、また、実際に動作させられている。その第1の方式は、図3および図4に示した、アナライザー5の条件（セクタ型の磁場の強さ）を変化させたり、その中のビーム通路に一定の電圧を与えて一時的に電子のエネルギーを変えスペクトルを動かす方式であり、第2の方式は、図5に示したアナライザー5の後段に設けられた出射スリット7を機械的に動かす方式である。

【0023】

第3の方式は、図6に示した、アナライザー5とスリット7との間に偏向コイル11を設ける方式であり、第4の方式は、図7に示した、電子銃1の加速電圧を変化させることによって、試料3に照射される電子ビームのエネルギーを変化させる方式である。

【0024】

上記4つの方式の内、広く使用されている方式は、第1と第4の方式である。第2の方式は、スリット7を機械的に移動させるので、機械的な移動精度を極めて高くしても、エネルギー分解能に比べては不十分であり、また、像の再現性や移動機構などの余分なコストがかかる等の問題点が存在する。

【0025】

第3の方式は、スリットの開口位置とスリット7の後段に設けられた結像レン

ズ系の光軸に一致しなくなるので、収差や軸ずれが生じてしまう。このように、第2と第3の方式には大きな問題点があり、第1と第4の方式が使用されているが、それらの方式にも一長一短が存在する。

【0026】

例えば、第1の方式では、アナライザーの磁場を掃引したり、磁場は一定に維持し、アナライザー5のビーム通路内のチューブに電位を与えれば、再現性良くスペクトルを動かすことができると共に、スリット7を通過した電子に対して後段の結像レンズ系9との間の軸ずれも発生しない。また、アナライザー5の前段に配置された照射レンズ系2や結像レンズ系4においても、何ら設定条件を変えることがないので、軸ずれが生じることはない。

【0027】

しかしながら、アナライザー5の後段の結像レンズ系8も、アナライザー5の前段の結像レンズ系4も、いずれもアナライザー5の中のチューブに電位を与える前のエネルギー損失していない電子（ゼロロス電子）に対して、正確に条件設定（例えばピント合わせなど）が行われている。したがって、チューブ電位を変えた場合、他の全てのレンズ系や偏向系の条件をチューブ電位に応じて連動して変化させない限り、チューブ電位を与えて結像する電子のエネルギーを変化させたなら、その電子に対しては、設定された各条件がずれる（ピントがずれる）ことになる。

【0028】

第4の方式では、試料3に照射する電子ビームの加速電圧を変える方式であることから、試料3の前段の照射レンズ系2の条件がずれ、軸ずれが発生する。しかしながら、試料透過後においては、所望のエネルギーロス電子がレンズの条件に合致した実エネルギーとなるため、像のピントがずれることはない。したがって、エネルギー選択スリット7で所望のエネルギーの電子を選別して結像させるエネルギーフィルタにおいては、第4の方式を採用するのが一般的である。

【0029】

上記したように、第4の方式の問題点は、照射レンズ系2の条件がずれるということである。これによって、試料3上の電子ビームの照射領域がずれたり、照

射される電子ビームの明るさが変化して、正確な信号処理の妨げとなることがある。このため、電子ビームの加速電圧を変化（上昇）させても、変化させる前と条件が変わらないように、照射光学系（照射レンズ系2や、図示していないが、軸合わせ用等の偏向コイル）の条件を、加速電圧の変化に応じて変化させるフィードバック制御を行う方法が提案されている。

【0030】

上記したように、電子ビームの加速電圧を変化させた場合、照射光学系2の条件を変える必要があるが、その理由は、各レンズの強さも偏向コイルの強さも、レンズの相対論補正エネルギーのルートに比例するという事実根拠に根拠する。つまり、加速電圧上昇前のエネルギーを E 、その相対論補正した値を E^* とし、加速電圧上昇後の電子ビームのエネルギーを E' （ $=E + \delta E$ ）、その相対論補正した値を E'^* とすると、上昇前のエネルギーに対するレンズや偏向コイルに流す電流 I と、上昇後に流す電流 I' には、次の関係がある。

【0031】

$$I' / I = \sqrt{E'^* / E^*}$$

このような理由により、電子ビームの加速電圧を変えた場合に、照射光学系の各レンズや偏向コイルの条件をフィードバック制御し、電子ビームの試料3上の位置ずれ、明るさ変化を除去するようにしている。

【0032】

ところで、通常の透過電子顕微鏡においては、試料は対物レンズの磁場の中に配置され、試料の前方の磁場は照射レンズ作用を有し、試料の後方磁場は、結像レンズ作用を有している。このことは、試料の前段の照射光学系へのフィードバックは、対物レンズにも導入しなければ、正しく動作させることは期待できないことを意味している。しかしながら、対物レンズの照射作用と結像作用は実際には別々に制御することは不可能である。それでも対物レンズによる試料7の前方磁場の強さを加速電圧の変化に応じてフィードバック制御を行うと、対物レンズの試料7の後方磁場による結像作用に悪影響を及ぼし、像のピントがずれてしまう。その結果、照射レンズ系へのフィードバックでは、目的を達成することができない。

【0033】

本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、その目的は、試料を対物レンズ磁場内に配置した場合でも、結像作用に悪影響なく照射レンズ系へのフィードバック制御が可能な電子分光系を有した電子線装置を実現することにある。

【0034】

【課題を解決するための手段】

本発明に基づく電子分光系を有した電子線装置は、電子銃から発生し加速された電子を試料に照射するレンズや偏向コイルより成る照射光学系と、対物レンズ磁場内に配置された試料を透過した電子を結像する結像光学系と、結像された電子を検出する検出系を備えると共に、検出される電子のエネルギーを分光し、特定のエネルギーの電子を検出するためのエネルギー選択手段を備えた電子分光系を有した電子線装置において、検出される電子のエネルギーをシフトさせるために電子銃の加速電圧を変化させ、加速電圧の変化に応じたエネルギーシフト値に補正係数を乗じた補正量により、照射光学系のレンズや偏向コイルに流す電流値を補正すると共に、補正係数をキャリブレーション可能に構成したことを特徴としている。その結果、電子銃の加速電圧を変えて、エネルギーシフトを行った場合、照射レンズ系の条件がずれることにより、試料上の電子ビームの照射領域がずれたり、電子ビームの照射明るさが変わったりすることが防止される。

【0035】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図8は、本発明に基づく透過電子顕微鏡の一例を示したもので、21は電子銃である。電子銃21から発生し加速された電子ビームは、照射光学系22によって収束され、試料23に照射される。照射光学系22内には、複数のコンデンサレンズ24や軸補正用の偏向コイル25が含まれている。試料23は、試料ステージ（図示せず）に取り付けられた試料ホルダ26に設けられている。

【0036】

試料ホルダ26の後段には、透過電子顕微鏡像を結像する結像光学系27が設けられている。この結像光学系27には、複数のレンズと複数の偏向コイルとが

備えられている。結像光学系 27 の後段には、電子エネルギーアナライザー 28 が設けられている。本実施の形態では、アナライザーとして、セクタ型の磁場が用いられており、入射電子はアナライザー内でそのエネルギーに応じて分散させられる。このアナライザーとしては、 90° に曲げられたチューブに電位を与えるタイプ、 Ω フィルタや α フィルタ、 γ フィルタの如きタイプのアナライザー（電子分光器）を用いることができる。

【0037】

アナライザー 28 の後段には、選択されたエネルギーの電子のみを通過させるエネルギー選択スリット 29 が配置されているが、スリット 29 の前段には、アナライザー 28 によってエネルギー分散（分光）され、アナライザー 28 から出射した電子をスリット 29 上に結像するスリット前部結像光学系 30 が設けられ、スリット 29 の後段には、スリット 29 の開口を通過した特定エネルギーの電子を、CCD カメラの如き検出器 31 上に結像するスリット後部結像光学系 32 が設けられている。検出器 31 によって検出された信号は、図示していないが、表示装置やエネルギー損失スペクトルを得るための信号処理装置に供給される。

【0038】

前記電子銃 21 には加速電圧制御モジュール 33 が接続されており、電子銃 21 の加速電圧は、この制御モジュール 33 から与えられ、また、その加速電圧値は制御モジュール 33 によって変えられる。また、照射光学系 22、結像光学系 27 に含まれる各レンズや偏向コイルは、光学系制御モジュール 34 が接続されており、各レンズや偏向コイルに流される電流や電圧はこの光学系制御モジュール 34 によって制御される。更に、エネルギーアナライザー 28、スリット前部結像光学系 30、スリット後部結像光学系 32 は、フィルタ光学系制御モジュール 35 によって制御される。

【0039】

加速電圧制御モジュール 33、光学系制御モジュール 34、フィルタ光学系制御モジュール 35 は、CPU 36 によってコントロールされており、CPU 36 から加速電圧が指定されると、加速電圧制御モジュール 33 は、電子銃 21 に与える加速電圧を指定された値に設定する。また、CPU 36 は光学系制御モジュール 34、35 によって制御される。

ール 34 をコントロールし、光学系制御モジュール 34 から照射光学系 22 や結像光学系 27 に含まれる各レンズや偏向コイルに流す電流を制御する。更に、CPU 36 はフィルタ光学系制御モジュール 35 をコントロールし、特定のエネルギーの電子像を検出器 31 の検出面上に結像させる。

【0040】

更にまた、CPU 36 は、エネルギーシフト制御モジュール 37 をコントロールするが、エネルギーシフト制御モジュール 37 は、加速電圧制御モジュール 33 をコントロールし、加速電圧の値を変化させて電子ビームのエネルギーをシフトさせ、また、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 光学系制御モジュール 34 をコントロールし、加速電圧に応じて各レンズや偏向コイルに流す電流量を変化させる。このような構成の動作を次に説明する。

【0041】

電子銃 21 から発生し加速された電子ビームは、照射光学系 22 によって試料 23 に平行なビームとされて照射される。この時、電子銃 21 の加速電圧は、CPU 36 から加速電圧制御モジュール 33 を介して設定される。また、試料 23 に照射される電子ビームの照射条件は、光学系制御モジュール 34 によってコントロールされる。

【0042】

試料 23 を透過した電子は、結像光学系 27 によって像が形成されるが、その像の倍率やエネルギーアナライザー 28 に入射する条件は、光学系制御モジュール 34 によって制御される。アナライザー 28 は、入射した電子を分光し、フィルタ結像光学系のスリット前部結像光学系 30 に導く。このスリット前部結像光学系 30 は、分光されたエネルギースペクトルをエネルギー選択スリット 29 に導く。このスリット前部結像光学系では、スペクトルを拡大したり、収差や歪を補正する働きを有している。なお、このスリット前部結像光学系 30 は必ずしも必要ではなく、この光学系を有しないエネルギーフィルタを有した透過電子顕微鏡も存在する。

【0043】

フィルタ作用を有するスリット 29 は、選択されたエネルギー値の適切なエネ

ルギー幅の電子だけをその開口を通過させる。スリット 29 を通過した電子は、スリット後部結像光学系 32 に入るが、この後部結像光学系 32 は、入射した電子を拡大し、試料 23 の投影像を後段の CCD カメラの如き撮像管として動作する検出器 31 の検出面上に結像させる。この結果、図示していないが検出器 31 に接続された陰極線管や液晶パネル等の表示装置には、選択されたエネルギーの適切なエネルギー幅の電子による試料のエネルギー損失像が表示される。

【0044】

さて、本実施の形態では、異なったエネルギーの電子によるエネルギー損失像を取得する際、電子銃 21 の加速電圧を変化させる方式を採用している。この電子のエネルギーを変化（シフト）させて像を取得する処理の流れについて以下説明する。

【0045】

まず、オペレータが CPU 36 に接続されたマウスやキーボードを操作して、エネルギーシフトのオペレーションを行なう。次に、CPU 36 はエネルギーシフト制御モジュール 37 に対してエネルギーシフト設定の指令を出す。エネルギーシフト制御モジュール 37 は、加速電圧制御モジュール 33 に対して加速電圧を指定された値にシフトさせる命令を出すと共に、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 に対してエネルギーシフト情報を転送する。エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 は、エネルギーシフト情報と、別途定義されたフィードバック条件に基づいてフィードバック値を算出し、透過電子顕微鏡光学系制御モジュール 34 に対してレンズ、偏向コイルに対する補正情報を供給する。

【0046】

このようにして、透過電子顕微鏡の照射光学系は、エネルギーシフトの指令に基づいてフィードバックを受ける。その量は、前記した次の式、

$$I' / I = \sqrt{E'^* / E'}$$

から求められる。前記したように、この式において、E は加速電圧シフト前のエネルギー、E^{*} はその相対論補正した値、E' (= E + δ E) は加速電圧上昇後の電子ビームのエネルギー、E'^{*} はその相対論補正した値である。

【0047】

上式から照射光学系の補正量 δI は、 $\delta I = I - I'$ となる。この補正量を照射光学系 22 のレンズ 24、偏向コイル 25 に適用し、レンズ強度や偏向コイルによる電子ビームの偏向量を加速電圧のシフト量に応じて補正する。ただし、対物レンズにはこの補正を適用しない。

【0048】

対物レンズについては、そのレンズ強度に対するフィードバックを適用していないので、照射光学系 22 が加速電圧のシフトによって完全に補正されたとはいえない。すなわち、対物レンズの試料の前方磁場が加速電圧のシフトに対応して補正されていないためである。この対物レンズの補正分は、他の照射レンズ 24 や偏向コイル 25 に受け持たせるように構成されている。

【0049】

すなわち、エネルギーシフト値に対する照射レンズ 24 の補正量が事前に測定して求められ、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 内のメモリーに記憶されている。同様に、偏向コイル 25 への電圧値もエネルギーシフト値に対する偏向コイルの補正量が事前に測定して求められ、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 内のメモリーに記憶されている。したがって、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 は、次のような演算を行ってレンズ補正量と偏向コイル補正量を求める。

【0050】

$$[\text{レンズ補正量}] = [\text{レンズ補正係数}] \times [\text{エネルギーシフト値}]$$

$$[\text{偏向コイル補正量}] = [\text{偏向コイル補正係数}] \times [\text{エネルギーシフト値}]$$

なお、上式の補正係数はキャリブレーションが可能になっている。

【0051】

前述のフィードバック制御において、レンズ強度を補正するレンズとして照射光学系 22 内の一つのコンデンサレンズ 24 を用いたが、複数のコンデンサレンズの組み合わせか、あるいは全てのコンデンサレンズを補正する方式のいずれであっても良い。同様に、補正する偏向コイルとしては、照射光学系 22 内の一つの偏向コイル 25 を用いたが、複数の偏向コイルの組み合わせか、あるいは全て

の偏向コイルを補正する方式のいずれであっても良い。また、補正用に新たなレンズや偏向コイルを設けるようにしてもよい。

【0052】

次にキャリブレーションについて説明する。この説明においては、理解を容易にするためレンズ強度が補正されるレンズは補正コンデンサレンズ24の一つ、偏向場が補正される偏向コイルは補正偏向コイル25の一つとする。

【0053】

ここで、上記した補正係数は、照射光学系の条件やこれから行なおうとするエネルギーシフト値に依存する。したがって、必要に応じて補正係数を設定し直す動作(キャリブレーション)が必要となる。このキャリブレーションの手続きは、次の通りである。

【0054】

まず、あるエネルギーシフト値 δE_1 (例えば0eV:シフトなし)で所望とする照射条件(電子ビームの照射位置、照射サイズなど)を整える。この時の補正コンデンサレンズ24の電流の値 I_1 、補正偏向コイル25の電流の値 I_{X1} 、 I_{Y1} をフィードバック制御モジュール38内のメモリーに記憶する。次にエネルギーシフト値を δE_2 にし、補正コンデンサレンズ24と補正偏向コイル25に供給する電流値を調整して、エネルギーシフト値 δE_1 の際の照射条件(電子ビームの照射位置、照射サイズなど)と同じ条件とする。このときの補正コンデンサレンズ24の電流の値を I_2 、補正偏向コイル25の電流の値 I_{X2} 、 I_{Y2} をフィードバック制御モジュール38内のメモリーに記憶する。

【0055】

このようにして求められた補正コンデンサレンズ24の電流の値と補正偏向コイル25の電流の値 I_1 、 I_2 、補正偏向コイル25の電流の値 I_{X1} 、 I_{Y1} 、 I_{X2} 、 I_{Y2} に基づき、補正係数 K_I 、 K_{Dx} 、 K_{Dy} を計算する。この計算は、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール38によって、次の式に基づき行なわれる。

【0056】

$$K_I = (I_2 - I_1) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

$$KD_x = (I_{X2} - I_{X1}) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

$$KD_y = (I_{Y2} - I_{Y1}) / (\delta E_2 - \delta E_1)$$

上記した手順によって各補正係数は求められ、エネルギーシフト値 δE に対する補正值 δI 、 δIX 、 δIY は、次の式によって計算される。

【0057】

$$\delta I = KI \times \delta E$$

$$\delta IX = KD_x \times \delta E$$

$$\delta IY = KD_y \times \delta E$$

上記した如き演算により求められた補正值は、透過電子顕微鏡光学系制御モジュール 34 に供給され、このモジュールにおいてコンデンサレンズ 24 への電流値は、補正量 δI によって補正される。また、偏向コイル 25 への X 方向の偏向量は、補正量 δIX によって補正され、Y 方向の偏向量は、補正量 δIY によって補正される。この結果、電子銃 21 の加速電圧を変化させて、選択する電子のエネルギーを変えた場合でも、試料 23 に照射される電子ビームの位置や明るさに変化を及ぼすことが防止される。

【0058】

以上、図 8 に基づいて本発明の一実施の形態を説明したが、本発明は図 8 の構成に限定されることなく他の変形が可能である。例えば、図 8 の形態では、補正係数を 1 次関数(直線)としたが、より高次の関数とすれば、更に正確な補正を行なうことができる。

【0059】

また、補正を適用するレンズや偏向コイルは、既存のものを用いたが、新たにレンズや偏向コイルを設け、それらをエネルギーシフトした際の試料に照射する電子ビームの補正用に用いても良い。更に、検出電子のエネルギーシフトを行なうため、電子銃の加速電圧を変化させたことにより、照射光学系の条件を補正した上で、更に、対物レンズの試料前方磁場分の補正を対物レンズ前段のレンズと偏向コイルによって行なうようにした。しかしながら、対物レンズの試料前方磁場分の補正を考慮せず、対物レンズ以外の照射系レンズや偏向コイルの補正のみでエネルギーシフトによる電子ビームの照射条件ずれを補正するようにしても、

実用上十分な効果が得られる。

【0060】

更にまた、本発明は、エネルギー損失電子分光によって試料に含まれる元素情報を取得する装置全てに適用できるもので、実施の形態として詳細に説明した図8の例では、単一のセクタ型マグネットによって電子をエネルギー分光させたが、

複数のマグネットによって電子を分光するタイプ、あるいは、 Ω フィルタや α フィルタ、 γ フィルタなど、電子をエネルギーに応じて分光するあらゆるタイプのアナライザーを用いた装置に適用できるものである。もちろん上記したように、電子を分光するために磁場型のもの以外に、静電型の偏向コイルや静電ミラーを使用したもの、あるいは、それらとマグネットを併用したものにも適用できる。

【0061】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明に基づく電子分光系を有した電子線装置は、電子銃から発生し加速された電子を試料に照射するレンズや偏向コイルより成る照射光学系と、対物レンズ磁場内に配置された試料を透過した電子を結像する結像光学系と、結像された電子を検出する検出系を備えると共に、検出される電子のエネルギーを分光し、特定のエネルギーの電子を検出するためのエネルギー選択手段を備えた電子分光系を有した電子線装置において、検出される電子のエネルギーをシフトさせるために電子銃の加速電圧を変化させ、加速電圧の変化に応じたエネルギーシフト値に補正係数を乗じた補正量により、照射光学系のレンズや偏向コイルに流す電流値を補正すると共に、補正係数をキャリブレーション可能に構成したことを特徴としている。

【0062】

その結果、電子銃の加速電圧を変えて、エネルギーシフトを行った場合、照射レンズ系の条件がずれることにより、試料上の電子ビームの照射領域がずれたり、電子ビームの照射明るさが変わったりすることが防止される。また、対物レンズの試料の前方磁場の強度の補正分は、補正電流値をキャリブレーションし、照射光学系のレンズや偏向コイルに流す電流値を適切に調節することによって補正

することができる。

【図面の簡単な説明】

【図 1】

2 ウインドウ方式のバックグラウンド除去方式を説明するためのエネルギー損失のグラフを示した図である。

【図 2】

3 ウインドウ方式のバックグラウンド除去方式を説明するためのエネルギー損失のグラフを示した図である。

【図 3】

アナライザーを備えた電子顕微鏡の例を示す図である。

【図 4】

アナライザーを備えた電子顕微鏡の他の例を示す図である。

【図 5】

アナライザーを備えた電子顕微鏡の他の例を示す図である。

【図 6】

アナライザーを備えた電子顕微鏡の他の例を示す図である。

【図 7】

アナライザーを備えた電子顕微鏡の他の例を示す図である。

【図 8】

本発明の一実施の形態である透過電子顕微鏡を示す図である。

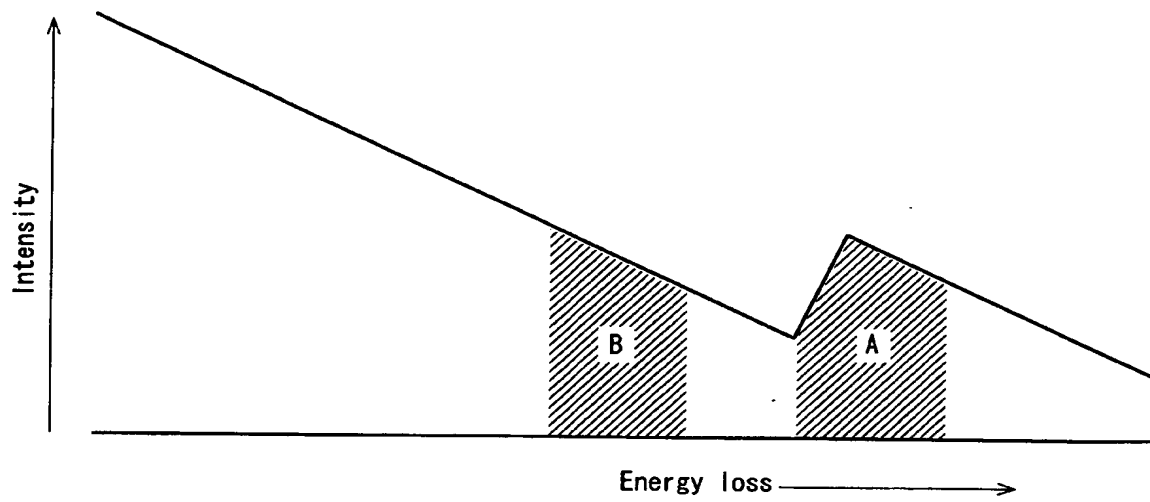
【符号の説明】

- 2 1 電子銃
- 2 2 照射光学系
- 2 3 試料
- 2 4 コンデンサレンズ
- 2 5 偏向コイル
- 2 6 試料ホルダ
- 2 7、3 0、3 2 結像光学系
- 2 8 アナライザー

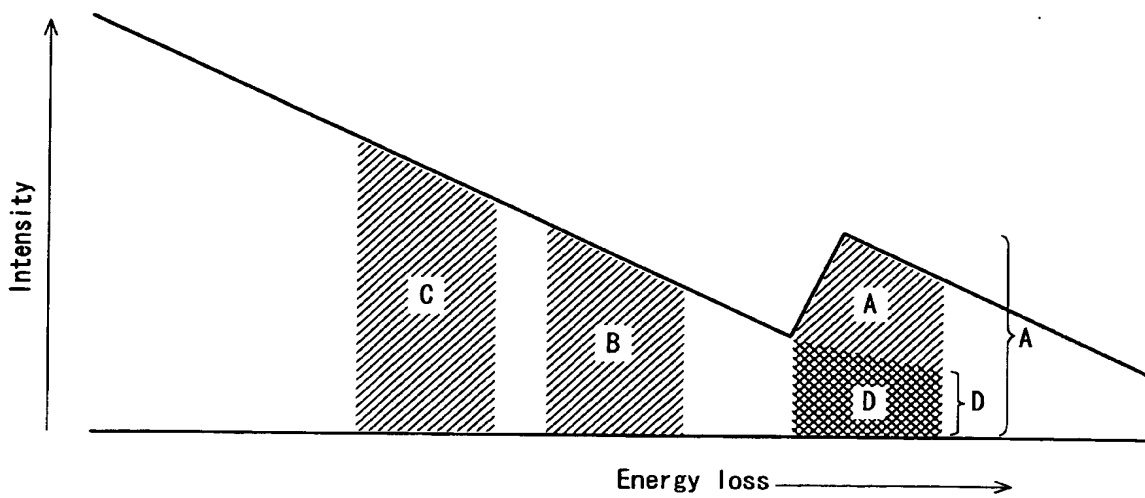
- 2 9 スリット
- 3 1 検出器
- 3 3 加速電圧制御モジュール
- 3 4 光学系制御モジュール
- 3 5 フィルタ光学系制御モジュール
- 3 6 C P U
- 3 7 エネルギーシフト制御モジュール
- 3 8 フィードバック制御モジュール

【書類名】 図面

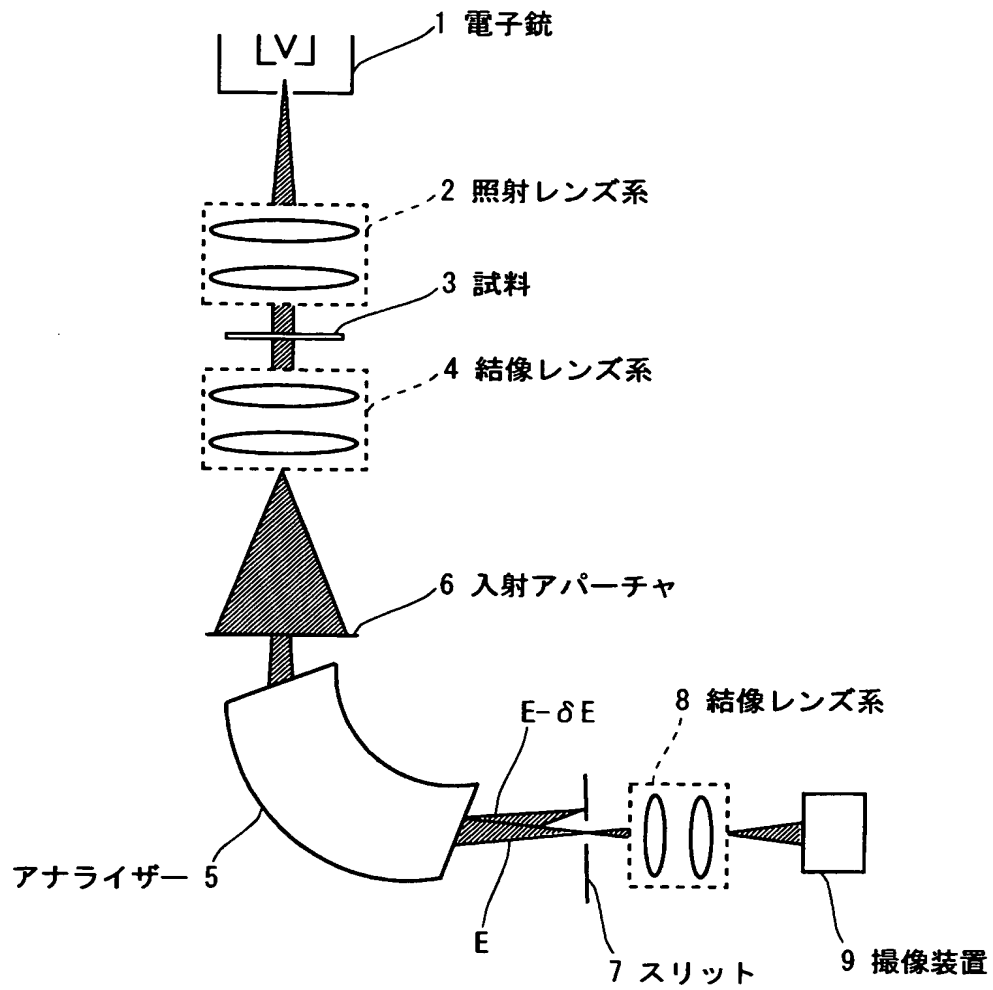
【図 1】



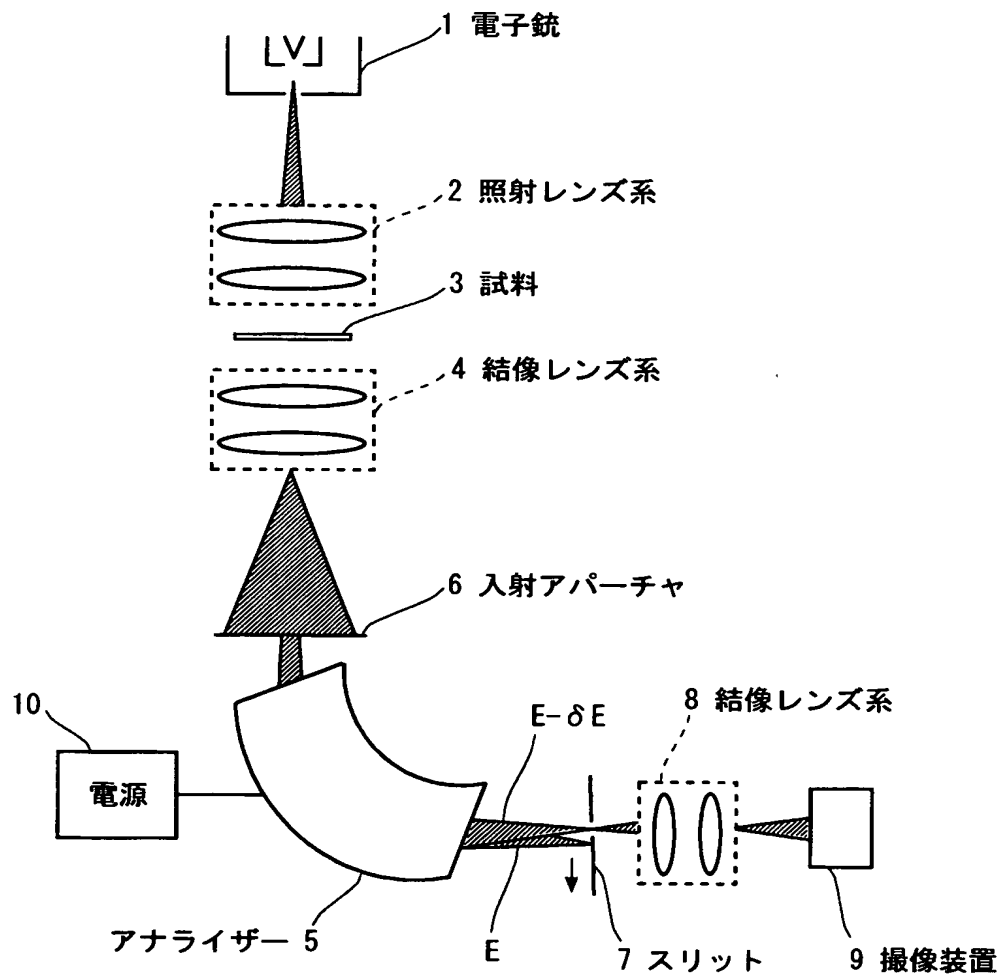
【図 2】



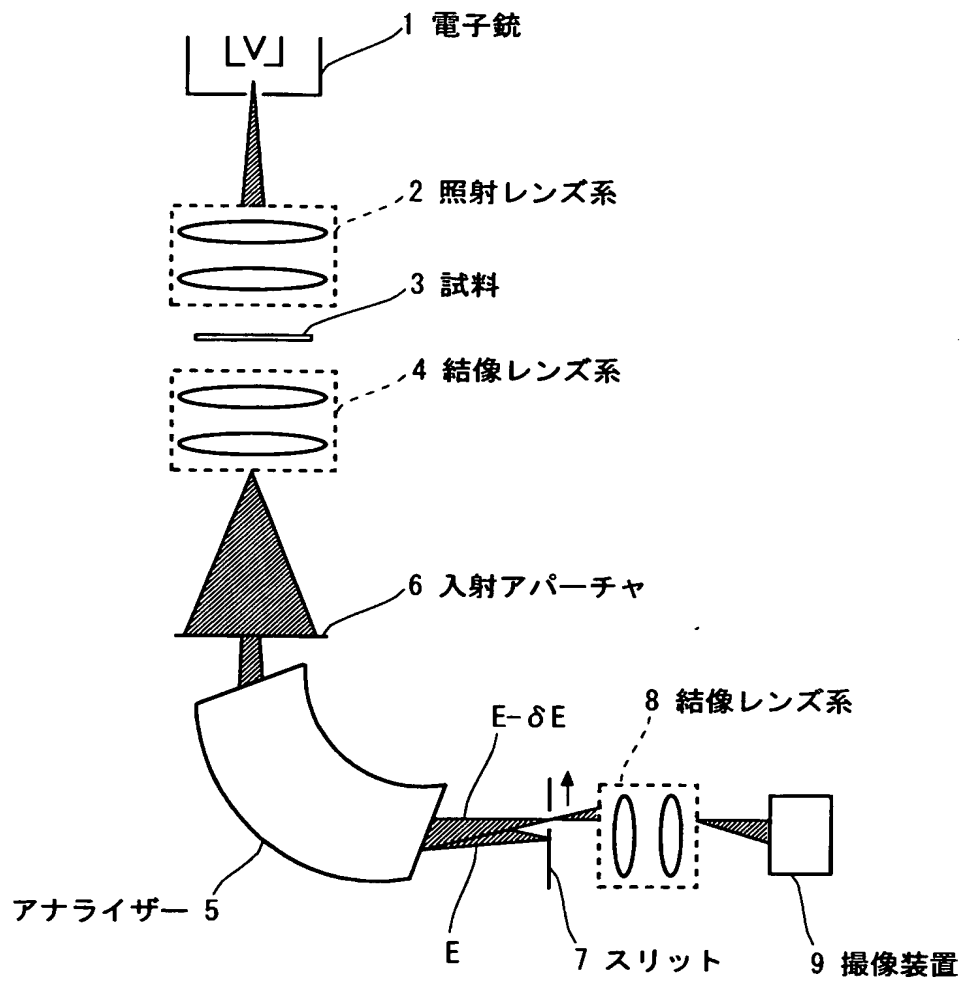
【図 3】



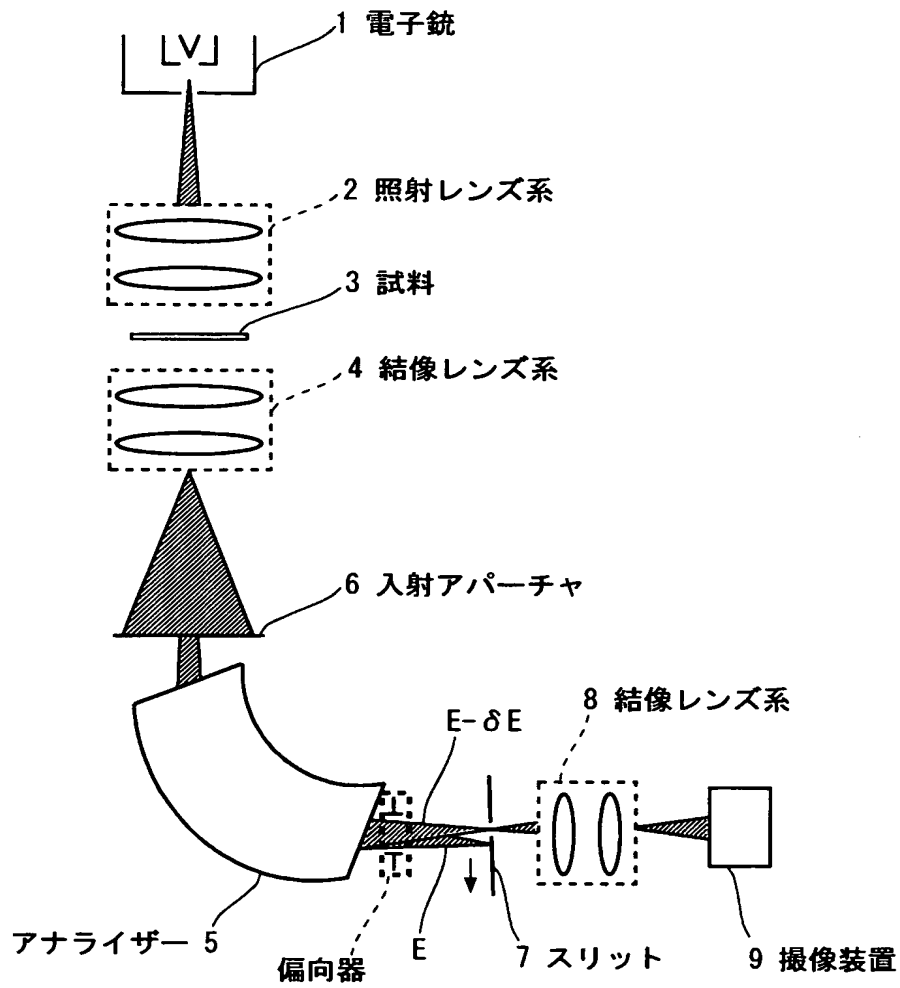
【図 4】



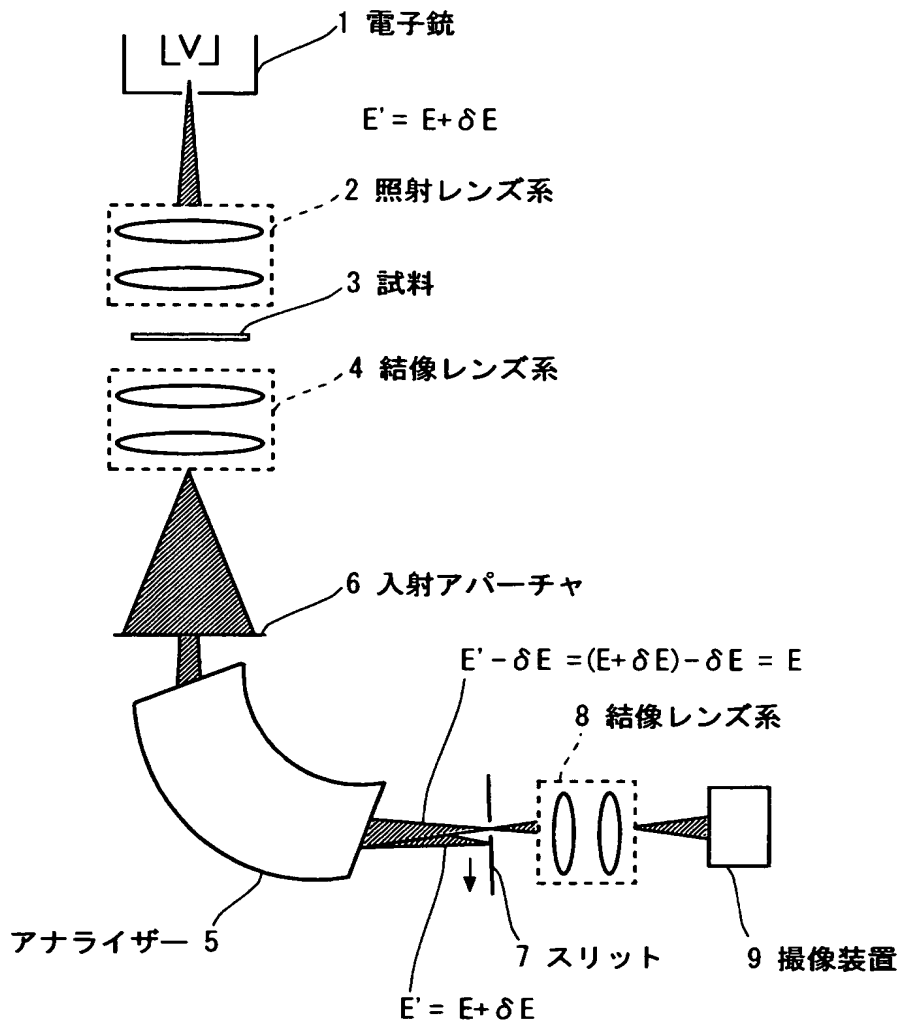
【図 5】



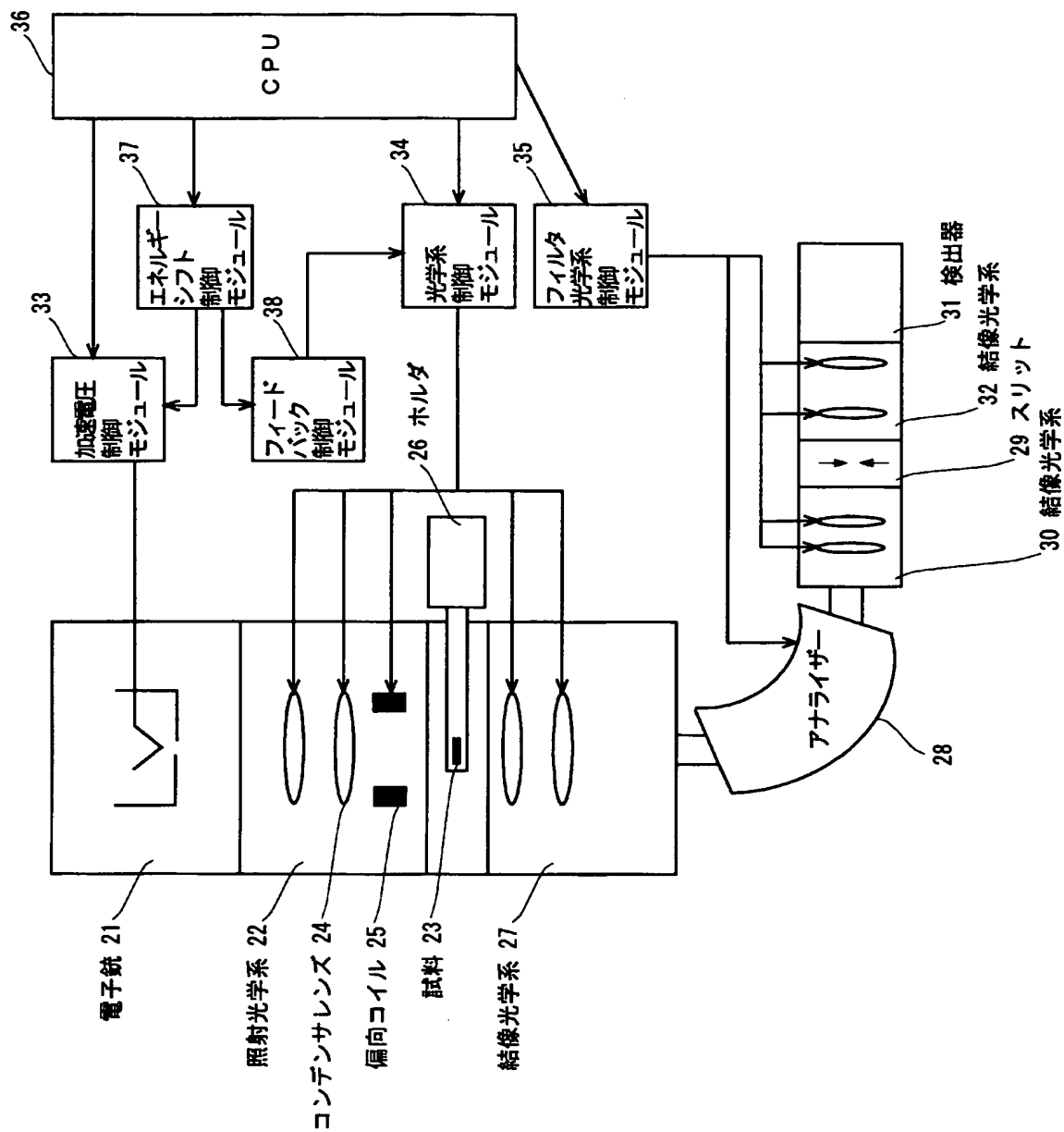
【図 6】



【図 7】



【図8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 試料を対物レンズ磁場内に配置した場合でも、結像作用に悪影響なく照射レンズ系へのフィードバック制御が可能な電子分光系を有した電子線装置を実現する。

【解決手段】 CPU 36 からエネルギーシフト設定の指令を受けた。エネルギーシフト制御モジュール 37 は、加速電圧制御モジュール 33 に対して加速電圧を指定された値にシフトさせる命令を出すと共に、エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 に対してエネルギーシフト情報を転送する。エネルギーシフトフィードバック制御モジュール 38 は、フィードバック値を算出し、透過電子顕微鏡光学系制御モジュール 34 に対してレンズ、偏向コイルに対する補正情報を供給する。なお、フィードバック値は、補正係数が乗じられており、この補正係数はキャリブレーションが可能とされている。

【選択図】 図 8

特願 2 0 0 3 - 0 1 4 7 5 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 7 1]

1. 変更年月日

1 9 9 0 年 8 月 7 日

[変更理由]

新規登録

住 所

東京都昭島市武蔵野 3 丁目 1 番 2 号

氏 名

日本電子株式会社